

自動車部品へのチタン材料の適用と課題

Application of Titanium Material for Automotive Industry in Japan

相 良 勝^{*(1)} 高 山 勇^{*(2)} 西 田 祚 章^{*(3)}
Masaru SAGARA Isamu TAKAYAMA Toshiaki NISHIDA

抄 録

自動車分野におけるチタンの適用は、1980年代の初め、レーシングカーのエンジン部品に始まり、その後適用部位を広げつつ、1989年には高級限定車へ実車搭載と用途拡大が図られつつある。本報ではチタンの新規用途として期待の集まる自動車分野において、どのような部位に検討が進んでいるのか、又これを高級量産車に適用するにはどのような課題があるのかその概要について述べた。

Abstract

In the field of automobiles, titanium found its first application to the engine parts of racing cars early in the 1980s. Since then, the application range of titanium has been expanded, including the application to limited models of high-grade cars in 1989. This paper describes the study being made on titanium application to automotive components which is a new prospective field of application, and the problems involved in titanium application to high-grade mass-produced cars.

1. はじめに

1991年の東京モーターショーでは“地球にやさしい車”をテーマに国内外より新型車が展示された。このショーで目を引いたのは“軽量化”により地球環境対策を図ろうとするもので、使用例もアルミニウム合金、マグネシウム合金、チタン、新素材と幅広いものとなっていた。この背景は地球環境問題のみならず米国のC A F E (Corporate Average Fuel Economy)の審議、更には企業としての高級化、差別化商品戦略の一環として出てきたものと考えられる。

従来、チタンは軽量、高強度機能材として航空・宇宙分野で、耐食機能材として産業分野で使用され、最近では建築・土木分野に用途拡大が行なわれつつある。

本報では今後の新規用途として期待の集まる自動車分野で、どのような部位に検討が進んでいるのか、又、それを具現化するためにはどのような課題があるのか、これらの概要を述べる。

2. 米国C A F E 法案の日本自動車メーカーへの衝撃

1989年6月米国議会において Bryan 議員が新たなC A F E 法案を提出し、自動車関係者に衝撃を与えた。本法案は第一に米国国家安全保障問題、第二に地球環境問題に対応する手段として自動車の燃費規制(向上)を図ろうとするもので、1988年C A F E 値を基準値として1995年に20%改善、2000年に40%改善が目標になっている。

最小値も27.5mile/gallon(11.6km/ℓ)に規制し、クリアできない場合はペナルティを課すとの案である。当時日本メーカーの米国

向輸出車は小型車主体の車種構成になっており、基準となる1988年C A F E 値は米国車に比べ20~30%高い水準にあった。

しかも、大型車への移行、安全対策の強化、快適性強化等によりC A F E 値は悪化の方向にあり、この新C A F E 法案は日本自動車メーカーを震かんさせる十分な衝撃を与えた。

これらの背景と軽量化ニーズ関係図を図1に示す。その後、米国ビッグ3の極度な収益悪化もあり、上記法案はサスペンドの状態に陥り、燃費改善に向けての取組みもブレーキが掛かったかに見えた。

しかし、1993年9月米国政府並びにビッグ3は10年計画で80mile/gallon(34.0km/ℓ)燃費車開発という目標を掲げ再び燃費改善に動き出した。

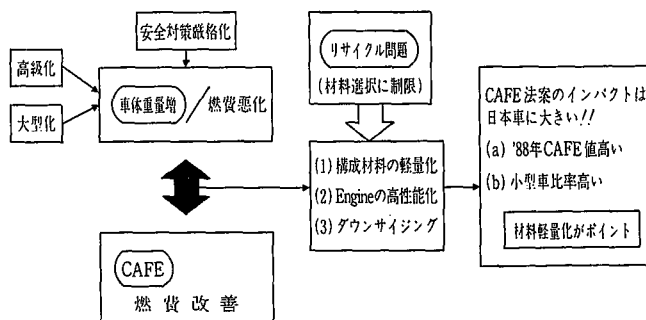


図 1 軽量化ニーズとその背景

*⁽¹⁾ チタン部 部長代理

*⁽²⁾ 技術開発本部 光技術研究部 主任研究員

*⁽³⁾ 光製鐵所 生産技術部 室長

3. CAFE値の推移と燃費改善技術

日米の代表的自動車メーカーのCAFE値の推移を図2に示す。前述の理由により日本メーカーの燃費改善は、米国車より一層厳しいものにならざるを得ない。

それでは日本メーカーはどのような視点で達成しようとしているのか、その概念図を図3に示す。現乗用車エンジンの主流であるレシプロ系ガソリンエンジンでは燃焼改善、伝達効率の向上等による効率アップに限界があるため、燃費の大幅改善には軽量化技術が核になるという期待がある。

4. 軽量化へのアプローチと軽量材料への材料置換

軽量化への手段としては 1)軽量材料への変換 2)部品の薄肉・中空化 3)部品の統合化などがある。この場合、軽量化の燃費改善効果に差があるため車両構造体とエンジン運動部品、サスペンション等足回り部品とを大別して見る必要がある。

図4は乗用車の車体重量と燃費との関係を示したもので1%の軽量化で1%程度の改善効果がある。一方、エンジンの運動部品であるコンロッドやバルブトレイン部品の軽量化は、車体の軽量化に比べはるかにその効果が大きい。

バルブリフターのアルミニウム化による13gの軽量化で1%の効果をえたという報告がある。これはバルブリフターの軽量化により、スプリング荷軽減という附随効果を生み出したことによるが、軽量化のアプローチ法として注目される。

それでは軽量材料への変換はどのように進みつつあるのだろうか？その概略に触れたい。一般的にいうと、軽量化への材料置換は比重の小さい材料への移行となる。すなわち、鋼よりアルミニウム化、あるいはアルミニウムよりマグネシウム化、プラスチック化の方向となっている。

まず、軽量材料の代表であるアルミニウム化動向について見ると、1970年にはエンジン運動部品のピストンからシリンダーヘッドカバー

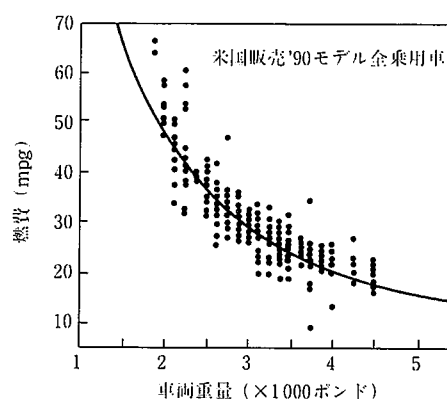


図4 車両重量と燃費²⁾

一、駆動系部品ではクラッチハウジング、トランスミッションケース類がアルミニウム化され、1980年に入るとロッカーアーム、シリンダブロックへの拡大、更にはラジエーター、クーラー類の熱交換器が加わり、ホイール等の足回り部品へと適用範囲が拡大されてきた。1980年代後半はスポーツカーのフード、フェンダー類の外板に適用され、1990年にはオールアルミボディのNSXが登場した。

このように見るとアルミニウム化はエンジン回りから付属部品へ拡大し、乗用車本体に広がりつつあると考えられる。一方、最軽量金属材料のマグネシウム合金は、その優れた鍛造性を生かし、複雑形状のダイキャスト部品に使用が始まった。まだ使用部位は高級限定車のステアリング部品と限定されているが、エアバック装着のため重くなったハンドル回りの軽量化の切札として、登場したことは注目に値する。

この他、プラスチック化による軽量化も着実に進んできたのは衆知の通りである。

5. チタンの特徴と自動車分野へのチタンの適用

自動車分野で使用が検討されている代表的チタン合金の基本特性を従来材と比較して表1に示す³⁾。チタンの比重は4.5で鋼の60%と軽量材料に位置する。

チタンはアルミニウム・マグネシウム合金より比重は大きい、強度ははるかに高いので比強度はアルミニウム合金より上に位置する。特に中温域ではその優位性が顕著となる。又、自動車部品に適

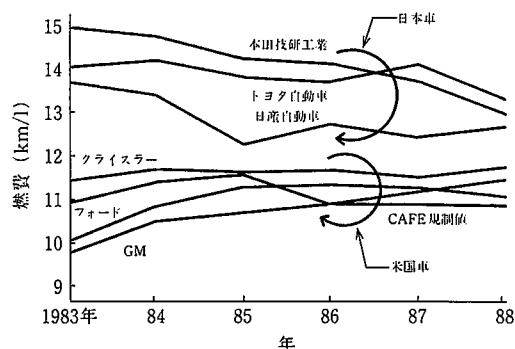


図2 自動車メーカー別CAFE値¹⁾

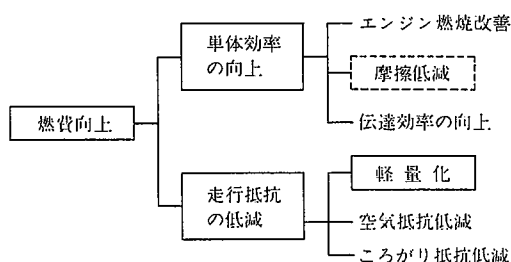


図3 燃費向上技術²⁾

表1 代表的チタン合金と従来材料の基本特性比較

材 料	密度 (g/cm ³)	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
低炭素鋼	7.8	350~450	200
ステンレス鋼	7.8~8.00	200~300	193~200
アルミ合金	2.8	50~450	69~71
CP Ti	4.51	220~550	103~107
Ti-3Al-2.5V	4.48	600	91~103
Ti-6Al-4V	4.43	1030	114
TIMETAL 62S	4.43	1100	117~124
Ti-6-2-4-2S	4.54	920	114
TIMETAL-1100	4.51	900	114
Beta-C(Ti-38644)	4.82	1240~1620	103
TIMETAL-LCB	4.63	1070~1460	
Ti-15-3-3-3	4.76	960~1400	103~107
Ti-22V-4Al	4.62	~950	
TIMETAL-21S	4.93	960~1400	100~103
Gamma-Ti-Al	3.96	390~480	168

用する場合に重要となる比靱性（靱性/比重）、比疲労強度（疲労強度/比重）の面でも各種鋼、アルミニウム合金に比べ優位にある⁴⁾。

外板類、機装品に使用する場合は耐食性能が問題となるが、チタンは塩害、海水環境に類を見ない性能を示す。米国、北欧では冬期凍結防止のため、道路に塩をまくが、この塩害対策として使用が期待できる。

又、チタンをばね類に使用するとヤング係数が鋼の約50%と小さいことから巻数を減らすことができ、軽量化のみならず小型化に役立つ。

以上の例に示すようにチタンは多くの優位性を持つが、素材コストが高い。切削性、加工性に難があるため、加工コストがかかる。部品の摺動部には耐磨耗処理が必要等、解決すべき課題もある。

では、どのような部位にチタンは適用されるのだろうか？ 現在の検討状況を図5に示す。又、表2に各部品をチタン化した場合の軽量化期待値とその開発段階を図示した。最も可能性の強いものは往

復運動するエンジン部品でバルブトレインが対象となる。次いで回転運動するエンジン部品のコンロッド、軽量化効果の大きいサスペンション部品が考えられる。

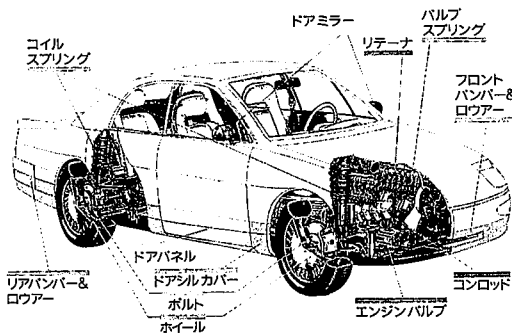
6. 自動車分野におけるチタンの適用例

自動車分野におけるチタンの適用は1980年代の初めF-1レーシングカーのエンジン部品で始まった。レーシングカーは高出力、高回転、ハイレスポンス性能が要求されることから軽量、高強度のチタンがエンジン部品に性能向上の視点より採用された。その後1989年には三菱自動車工業㈱が“GALLANT”のAMGエンジンのリテーナに、1990年には本田技研工業㈱がスポーツカー“NSX”のコンロッドにチタンを採用した。

又、1991年東京モーターショーにおいてはチタンを車体下部に使用した日産“TR1-X”が展示され、世の注目を集めた。

(1) エンジン部品 GALLANT/リテーナ、NSX/コンロッドの例

チタン化が検討されている乗用車部品(例)



チタン化が検討されているエンジン部品(例)

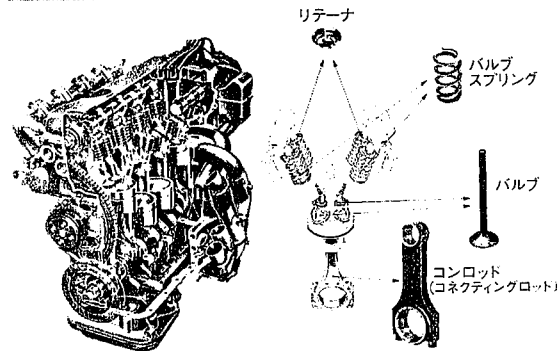


図5 チタン化が検討されている部位例

表2 チタン化により期待される部位別軽量化量と開発ステージ

部 位	現材料	軽量化量 (期待値)	開発ステージ				適用材料	技術的なポイント
			レーシングカー	コンセプトカー	高級限定車	量産車		
エンジン部品	コンロッド	▽30% ▽1.1kg					Ti-6Al-4V Ti-2Al-2V TIMETAL-62S	・切削性改善 ・低コスト型磨耗処理
	炭素鋼							
	バルブ	▽40% ▽0.3kg					Ti-6Al-4V TIMETAL-62S Ti-1100	同上
	耐熱鋼							
	バルブスプリング	▽55% ▽0.7kg					Beta-C Beta-21S	・低コスト型磨耗処理
	ばね鋼							
	リテーナ	▽40% ▽0.2kg					Ti-22V-4Al Ti-15-3	・冷間加工性 ・低コスト型磨耗処理
	Cr-Mo鋼							
足回り部品	サスペンション	▽50% ▽5.3kg					Beta-C Beta-21S TIMETAL-LCB*	・低ヤング係数
駆動系部品	ドライブシャフト	▽30% ▽2.4kg					Beta-C Beta-21S	・剪断強度改善 ・切削性改善
機装品 ほか	ドアミラー 外板パネル	▽40% 耐食性能		外板 パネル	ドアミラー ホイール		C/P	

注1) □：実績有り □：開発中

注2) *印：開発中

“GALLANT” リレーナを見ると素材は冷間鍛造で製造するため Ti-22V-4Al 系の新 β 合金が開発され適用されている。耐摩耗対策としては製品表面に低コスト型の酸化処理を施し対処している。チタン適用の効果としては軽量化量40%、エンジン回転数300~400 RPM増が達成された⁵⁾。次いで、NSX のコンロッドの例で見ると、新快削チタン合金 Ti-3Al-2V+S+REM が適用されている。これはコスト負担の大きな切削工程の負担を軽くするため開発されたもので、従来の Ti-6Al-4V 系に比較するとドリル穴加工効率は約3倍になっている。又、耐摩耗対策としては CrN イオンプレーティング処理を施し、従来の Mo 溶射処理より低コスト、長寿命化が図られている。チタン適用の効果は軽量化量30%、エンジン回転数増700 RPM 増が達成できたと報告されている⁶⁾。

(2) 車体 TRI-X/車体下部適用例

TRI-X へのチタンの適用部位はドアアウター、サイドシルカバー、フロントバンパー&ロウアー、リヤバンパー&ロウアーの4箇所、車体下部を覆う形で適用されている。これは軽量化+塩害対策を狙ったもので、図6に展開図を示す。この種の外板は非常に厳しい加工を受けることから、素材メーカーと自動車メーカーが共同開発した成果が取り込まれている。

(3) 機装品 超音波雨滴除去ミラー板の例

トヨタはレクサス、ソアラなどの高級乗用車に超音波雨滴除去ミラーを装備しており、この裏板にチタンが適用されている。このミラーは雨の中での視界を確保するため開発されたもので、チタンと鏡の線膨張係数が近く、気温の高低で像が歪まないこと、超音波の伝達性能が良いことから採用されている。

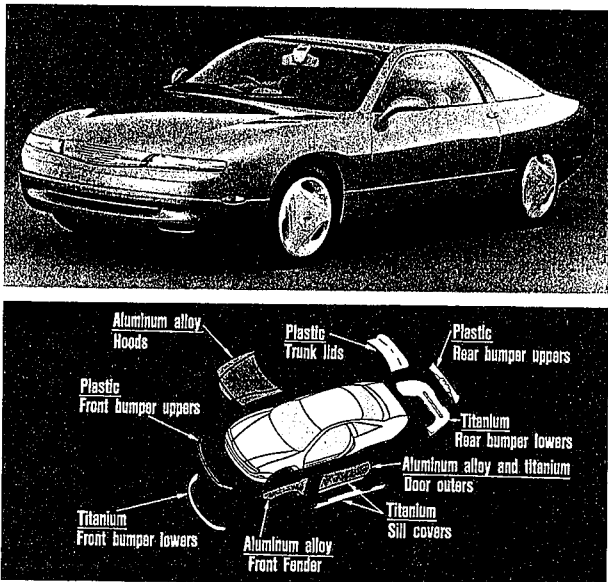


図6 東京モータショー展示車“TRI-X”の外観とチタン外板使用部位

7. 自動車部品チタン化のための課題

自動車部品をチタン化する場合、第一に素材のコストをいかに下げるか、第二に中・高温の使用制限域をいかに広げるか、第三に成形、加工等部品製造コスト並びに耐摩耗処理コストをいかに下げるかにある。以下に試み例を紹介したい。

(1) 低コスト型新合金並びにハイパフォーマンス型新合金の紹介

自動車分野で最も実績あるチタンは Ti-6Al-4V 合金である。米国 TIMET 社はこの材料の低コスト型新合金として TIMETAL-62S を開発した。高価な V を Fe で代替した Ti-6Al-1.7Fe-0.1Si 合金である。コンロッド、インテークバルブ使用温度域での特性例を図7、8に示す⁷⁾。Ti-6Al-4V 合金と同性能を示すことから今後用途拡大が期待できる。又、バルブスプリング、サスペンションスプリング用材料としては加工性、疲労強度確保の点より β 系合金が使用されているが、この低コスト型新合金として TIMETAL-LCB が開発された。

この合金は高価な V を低コスト β 安定化元素の Fe-Mo に代替するもので、スプリング用低コスト型合金として使用が期待される⁷⁾。

チタン合金は概して500°C程度の中、高温域に使用限度がある。一方、エグゾーストバルブは800°C域まで昇温することから Ti 合金の使用は困難とされていた。上記 TIMET 社は航空分野で使用されている Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo 合金の発展型として、より高温特性の優れた TIMETAL-1100を開発した⁸⁾。その高温特性を図9、10に示す。又、同図には Ti-Al 金属間化合物の特性も示した。又、 β 系合金としては、中・高温域の耐酸化性の格段に優れた TIMETAL-21S も開発されている。バルブトレイン系の軽量化ニーズは強いことから、これら新合金の使用が期待される。

(2) 成形、切削加工並びに耐摩耗処理コストの低減

部品の成形加工は鋼と同一設備を使用することができるが、チタンは鋼より高価であるため、歩留向上を図ることが重要となる。このためには、鍛造加工性を改善するための加熱温度の適正化、加工中の温度制御、粗鍛造から仕上げ鍛造までの加工工程配分の適正化がポイントとなる。

又、冷間加工性の優れた β 系合金の活用、Near Net Shape 化を図るための密閉鍛造、粉末冶金等の新技術の活用策も検討されている。部品ごとに適切な選択が望まれる。又、チタンは難切削材に位置することから、チタン部品の適用には生産効率面、コスト面で困

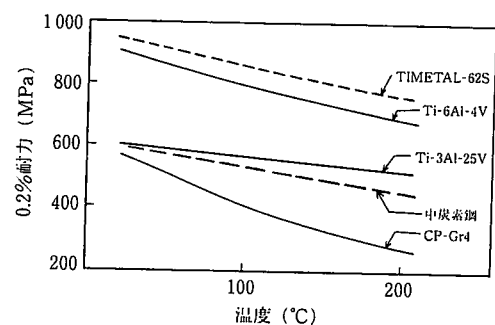


図7 代表的コンロッド用材料の耐力と温度の関係

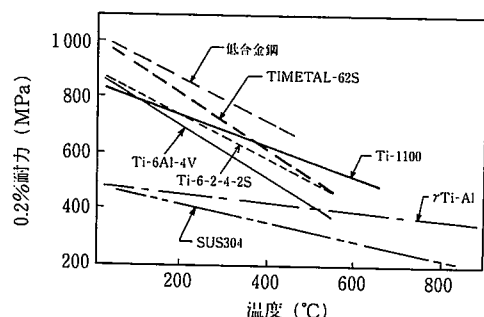


図8 代表的バルブ用材料の耐力と温度の関係

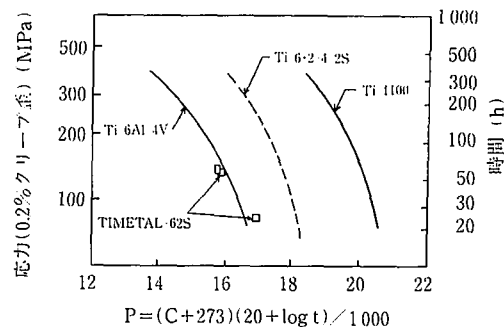


図9 バルブ用チタン合金の0.2%クリープ応力と Larson-Millerパラメータの関係

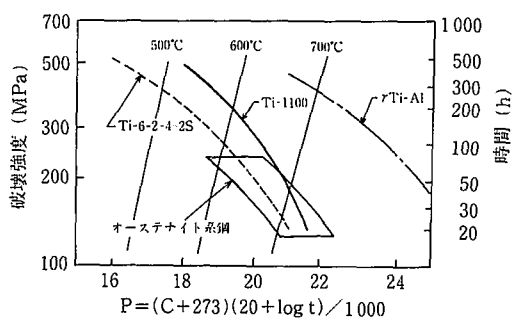


図10 バルブ用チタン合金のクリープ破壊強度と Larson-Millerパラメータの関係

難視する向きもあったが、近年、難切削材用に開発された高圧クランク型の高効率切削機の活用が有効であることが分かり、多量生産ネック解消に見通しを得つつある。更に快削チタンの適用、Near Net Shape 化技術と組み合わせれば課題解決の武器となる。

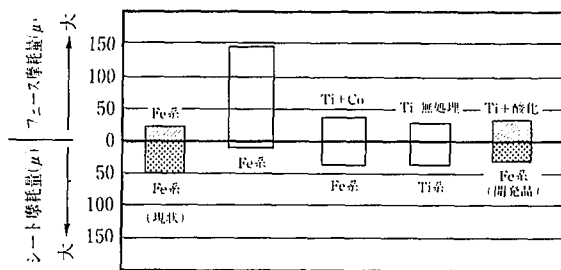
一方、自動用チタン部品は、運動系に使用されることが多いため、摺動面の焼付き並びに摩耗対策が必須となる。代表的部品におけるハードフェーシング処理を表3に示す⁹⁾。各種処理法が導入されているが、低コスト化には、酸化処理法が最も近道であると考えられる。

すでに、コンロッド、リテーナに実用化されている。図11はインテークバルブを例に各種処理の耐摩耗特性を調べたもので、酸化処理は有力な方法であることが分かる。

チタンの焼付き、摩耗挙動は相手材、摺動系並びにパターンによって大幅に変動するので注意が必要である。相手材の材質変更とセ

表3 チタン部品の耐焼付・摩耗処理法

処理法	部品
めっき 硬質めっき Ni-P	バルブリフター スプリング
溶射 モリブデン タングステン	バルブ コンロッド クラッチ
窒化	リテーナ
酸化	バルブ コンロッド
イオンプレーティング	コンロッド



高温弁座摩耗試験 (加速試験)

図11 インテークバルブ系加速摩耗試験特性比較

ットで対策をとるという視点も重要となる。

8. 自動車分野への期待と今後の展開

これまで述べてきたように自動車分野でのチタンの適用は、一歩一歩着実に前進しつつある。しかしながら、従来のスポーツカーの性能改善を狙ったものからC A F Eを背景とした燃費改善によりコスト回収狙いへと移行させるためには、更なる強力な部品コスト低減策が不可欠となる。このためには、素材メーカーは、自家の工程コストを低減させると同時に、部品製造工程の低減まで視野に入れた技術開発 (良加工性、快削チタン合金など) を積極的に図る必要がある。部品メーカーはチタンの特性を十分踏まえてこれを使いこなす技術開発 (Near Net Shape 化技術など)、自動車メーカーは、チタンの長所を極大化する評価システムと設計技術の開発が重要となる。

中長期的に見ると自動車分野におけるチタンの使用は、その潜在性能からしてモータースポーツから高級限定車へ、更には高級量産車へと道は拓けていくものと期待しているが、1) 他材料との組合せ技術、2) リサイクル対応技術、3) 素材の安定供給体制の整備など残された課題にも手をつける必要がある。

参考文献

- 1) Automotive Fuel Economy Program. Annual Report to the Congress, 1992.
- 2) 近田敏弘: 軽金属協会第6回技術講座. (1990) 65
- 3) Allen, P.G.: The Institution of Mechanical Engineers. (1992) 1
- 4) 桑山哲也 ほか: 住友金属. 41 (2), 47 (1989)
- 5) 虫明守行: チタニウム・ジルコニウム. 38 (2), 123 (1990)
- 6) 松原敏行: チタニウム・ジルコニウム. 39 (4), 175 (1991)
- 7) Ashleyn, S. Mechanical Engineering. (1993) 64
- 8) 萩原好敏: ばね技術研究会懇話会. (1990) 21